



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ŠTĚPKOVAČ DŘEVA - EFEKTIVITA**

WOOD CHIPPER - EFFICIENCY

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Petr Šulák

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2019

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Petr Šulák**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### Štěpkovač dřeva – efektivita

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Konstrukční návrh štěpkovače dřeva na základě výsledků rešerší s pojednáním o rozměrech vstupního materiálu.

#### **Cíle bakalářské práce:**

Vypracovat rešeršní rozbor typů štěpkovačů i drtičů včetně výrobců, případně cen i použití.

Upřednostnit hledisko efektivity funkce.

Na základě rešerše navrhnout a zdůvodnit vlastní konstrukci s možností adaptability k rozměrům vstupního materiálu.

Nakreslit sestavný výkres štěpkovače, důležité detailní výkresy.

Dle dostupných informací vyhodnotit zpracovávané materiály.

#### **Seznam doporučené literatury:**

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh štěpkovače na klestí. V teoretické části se věnuji mechanickým vlastnostem zpracovávaného materiálu. Dále uvádím jednotlivé druhy štěpkovačů a drtičů. V praktické části jsou základní parametry stroje vyvozeny z rešerše. Tyto hodnoty vstupují do výpočtů potřebných pro sestavení součástí, ze kterých se štěpkovač skládá. Součástí práce jsou výrobní výkresy a 3D model v programu Inventor 2019 od společnosti Autodesk.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Štěpkovač, drtič, spalíkovač, mechanismus protiběžných hřídelí, výroba štěpky

## ABSTRACT

The objective of this bachelor thesis is to design the wood chipper. In the theoretical part I am dealing with the mechanical properties of the processed material. Furthermore, I am mentioning individual types of chippers and crushers. In the practical part, the basic parameters of the machine are deduced from the research. These values are entering into the calculations needed to construct the components that the chipper is assembled with. The thesis includes production drawings and a 3D model made in Autodesk Inventor 2019.

## KEYWORDS

Wood chipper, crusher, shredder, counter-rotating shaft mechanism, chip manufacture



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ŠULÁK, P. *Štěpkovač dřeva - efektivita*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Jiří Malášek.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2019

.....

Petr Šulák



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a odborné vedení při tvorbě této práce. Poděkování patří taktéž firmám ŘETĚZY Olomouc, spol. s r.o., ZAMET, spol. s r.o. a dalším, kteří se podíleli na výrobě a podělili se o cenné informace i zkušenosti. Závěrem bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu po dobu mého studia na VUT FSI v Brně.

## OBSAH

Úvod .....	10
1 Vlastnosti dřeva .....	11
1.1 Rozdělení dřeva .....	11
1.2 Ovlivňující faktory zpracování dřeva .....	11
1.2.1 Vlhkost dřeva.....	11
1.2.2 Odolnost proti štípání .....	13
2 Rozdělení štěpkovačů .....	14
2.1 Rozdělení dle techniky zpracování .....	14
2.1.1 Frézovací .....	14
2.1.2 Protiběžné hřídele .....	15
2.1.3 Turbinecut.....	16
2.1.4 Diskový.....	17
2.1.5 Spirálový.....	18
2.1.6 Bubnový .....	18
2.2 Podávání.....	19
2.2.1 Samočinné podávání.....	19
2.2.2 Bez podávacího zařízení.....	19
2.2.3 S podávacím zařízením.....	19
2.3 Rozdělení dle výkonu .....	20
2.3.1 Zahradní.....	20
2.3.2 Malé.....	20
2.3.3 Střední.....	20
2.3.4 Velké.....	21
2.4 Rozdělení dle pohonu .....	22
2.4.1 Pohon elektromotorem .....	22
2.4.2 Pohon spalovacím motorem .....	23
2.4.3 Pohon hřídelem kardanu .....	24
2.5 Rozdělení dle manipulace – transportu .....	24
2.5.1 Nesené konstrukce za traktorem.....	24
2.5.2 Samohybné stroje .....	24
2.5.3 Stroje s vlastním podvozkem.....	25
2.5.4 Stroje na přívěsu .....	25
3 Příslušenství pro zvýšení efektivity .....	26
3.1 Pásový dopravník.....	26
3.2 Pytlovací zařízení.....	26



3.2.1	Pytlovací zařízení na rašlové pytle .....	26
3.2.2	Pytlovací zařízení na big bagy .....	27
3.3	Komín .....	27
4	Vlastní návrh a konstrukce štěpkovače .....	28
4.1	Motor s převodovkou .....	28
4.2	Čelní soukolí .....	28
4.2.1	Určení převodového stupně .....	29
4.2.2	Výpočet kroutícího momentu na ozubeném kole .....	29
4.3	Výpočet pera pastorku .....	30
4.3.1	Dovolený tlak na bok pera .....	30
4.3.2	Obvodová síla v peru .....	30
4.3.3	Minimální délka pera pastorku .....	30
4.4	Výpočet pera ozubeného kola .....	30
4.4.1	Obvodová síla v peru .....	30
4.4.2	Minimální délka pera .....	31
4.5	Životnost ložisek předlohové hřídele .....	31
4.5.1	Výpočet reakčních sil v ozubení .....	32
4.5.2	Výpočet sil v ložiscích .....	32
4.5.3	Volba ložiska .....	33
4.6	Volba svěrného pouzdra .....	34
4.7	Výpočet předlohové hřídele .....	34
4.7.1	Silové zatížení hřídele .....	34
4.7.2	Výpočet bezpečnosti hřídele .....	35
5	Realizace .....	38
	Závěr .....	40
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	44
	Seznam příloh .....	47

## ÚVOD

Při pravidelné údržbě ovocné zahrady, prořezávce lesů nebo plošné těžbě vzniká velké množství dendromasy s potencionálním využitím, který je spíše vnímán jako odpad a necháván na místech vzniku bez většího povšimnutí. Zpracováním zbytků po těžbě můžeme zvýšit výtěžnost ze stromu až o 20 %. Zpracováním větví snižujeme také riziko napadení okolí kůrovcem, jelikož mu nedáváme možnost nalézt zázemí pro rozmnožení v nehroubí. Drť zpracovanou z lesa nebo zahrad můžeme využít pro vytvoření kompostů, výrobu dřevotřískových desek nebo dokonce pro výrobu kosmetiky a krmiv. V této práci se ovšem budu zaměřovat pro nejčastější využití štěpky a to spalováním. Na základě výsledků rešerší drtičů jsem zvolil ten, jehož potenciál může využít každá domácnost s kotlem na tuhá paliva a dostatkem místa pro skladování. Tímto způsobem můžeme ušetřit finance za nákup palivového dřeva.

# 1 VLASTNOSTI DŘEVA

Vstupním materiálem pro štěpkovač je odpadní dřevní hmota, která není zpracována v dřevařském průmyslu. Jedná se především o větve a zbytky kůry. Často se tento materiál po těžbě shromažďuje na hromady a pálí se přímo na místě. Použitím štěpkovače můžeme využít jeho tepelnou energii při spalování v kotlech na pevná paliva. Efektivně tak můžeme vytápět obytné domy, haly či ohřívat teplou užitkovou vodu.

## 1.1 ROZDĚLENÍ DŘEVA

Dřevo můžeme dělit do kategorií několika způsoby. Nejčastěji se dřevo rozlišuje dle tvrdosti viz. Tab. 1.

Tab. 1 Dělení dle tvrdosti

Tvrdost	Druh dřeva
Měkké	Smrk, borovice, topol, vrba, lípa, olše, bříza, modřín, jedle
Tvrdé	Habr, dub, buk, javor, ořech, jabloň, jasan, švestka, hrušeň, akát

Hodnoty tvrdosti se u měkkého dřeva pohybují v rozmezí do 50 MPa. U tvrdého dřeva např. buku je hodnota okolo 80 MPa. Nejtvrdší dřeva jsou exotická, jejichž hodnoty přesahují hranici 150 MPa.

## 1.2 OVLIVŇUJÍCÍ FAKTORY ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

V této práci se zaměříme zejména na štěpkování a uskladnění produktu, proto je nutné znát základní vlastnosti materiálu.

### 1.2.1 VLHKOST DŘEVA

Vlhkostí dřeva rozumíme podíl vlhkosti ve dřevě. Tento faktor nám nejvíce ovlivňuje výhřevnost paliva a kvalitu spalování dendromasy v kotlích na tuhá paliva. Při vysoké vlhkosti může výhřevnost paliva klesnout až na polovinu. Dalším neblahým účinkem je zvýšená tvorba dehtu, sazí a zanášení kouřovodu spalinami. Vlhkost dřeva určená pro topení by neměla přesáhnout 25 %. Tabeľované hodnoty vybraných zástupců můžeme vidět v Tab. 2.

Tab. 2 Výhřevnost a objemová hmotnost dřeva [18]

Druh paliva	Objemová hmotnost [kg/rm]	Výhřevnost [MJ/rm]
Smrk	415	5 440
Borovice	495	6 730
Olše	430	5 550
Vrba	450	5 740
Bříza	525	7 100
Buk	585	7 320
Habr	610	7 400

Vlhkost ovlivňuje taky nároky na uskladňovací prostory. Pro uskladnění drtě je maximální doporučená vlhkost 40-50 %. Pro zpracování štěpky jsou nároky podobné, avšak na

otevřeném prostoru je možné skládat štěpku v rašlových pytlích nad sebe (Obr. 1) a tak výrazněji zvýšit využití skladovací plochy.



*Obr. 1 Skladování štěpky v rašlových pytlích [19]*

Nevhodným skladováním dochází k degradaci štěpky. Této vlastnosti však lze využívat při tvorbě kompostu. V extrémních případech může plyn vznikající ze štěpek vzplanout (Obr. 2).



*Obr. 2 Doutnající drť [20]*

### 1.2.2 ODOLNOST PROTI ŠTÍPÁNÍ

Štípání dřeva je složitý jev, kdy pomalu do materiálu vniká štípací klín. V tuto dobu působí na materiál současně tlaková i ohybová síla. Odpor proti rozrušení dřeva lze klasifikovat pro každý typ dřeva. Hlavní rozdíly štípatelnosti v závislosti na vlhkosti můžeme vidět v Tab. 3.

*Tab. 3 Odolnost dřeva proti štípání [4], str. 161*

Druh paliva	Štípání v radiální rovině při vlhkosti		Štípání v tangenciální rovině při vlhkosti	
	12 %	> 30 %	12 %	> 30 %
Smrk	0,18	0,11	0,18	0,11
Borovice	0,22	0,14	0,22	0,14
Akát	0,40	0,25	0,53	0,32
Topol	0,19	0,12	0,25	0,16
Jasan	0,43	0,27	0,45	0,27
Buk	0,33	0,20	0,50	0,30
Habr	0,41	0,25	0,55	0,34

Z hodnot taktéž můžeme vyčíst, že všeobecně listnaté stromy mají vyšší hodnoty v tangenciální rovině než v radiální. Nejen štípatelnost, ale i další aspekty mají hlavní vliv na opotřebování nožů štěpkovače, proto je šetrnější pro nože štěpkovat čerstvé větve a kůru nežli zaschlý materiál.

## 2 ROZDĚLENÍ ŠTĚPKOVAČŮ

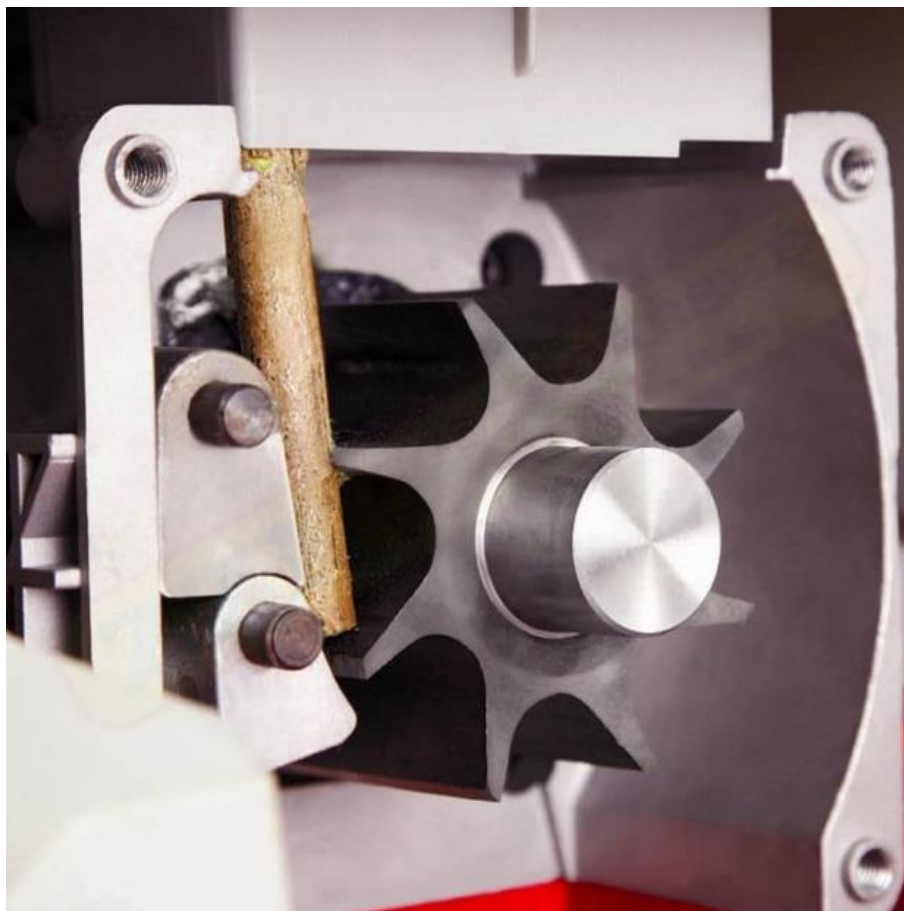
Samotné stroje na zpracování větví a ostatní dřevní hmoty dělíme dle názvů do kategorií, a to na drtiče a štěpkovače. Občas je možné se setkat i s názvem špalíkovač, což je stroj vyrábějící delší špalíky, určené pro další uskladnění a spalování v kotlích na tuhá paliva. Roztřídit tyto stroje můžeme do několika kategorií, například „hobby“ a „profí“, kde je zejména posuzována kvalita zpracování stroje, vlastnosti a životnost použitých materiálů, bytelnost, ergonomický a uživatelsky příjemný design a spousta dalších faktorů ovlivňující objektivní i subjektivní hodnocení. Dále můžeme rozdělovat stroje do kategorií dle technických parametrů – výkonnosti motoru, maximální rozměry vstupního materiálu, a požadovaných parametrů výsledné velikosti zpracované hmoty.

### 2.1 ROZDĚLENÍ DLE TECHNIKY ZPRACOVÁNÍ

Správně zvolený mechanismus štěpkovače může ušetřit spoustu času a energie.

#### 2.1.1 FRÉZOVACÍ

Tento druh mechanismu je zejména využíván u zahradních štěpkovačů. Výhodou frézovací hlavy je samočinné vtahování materiálu. Technická jednoduchost stroje spočívá ve frézovací hlavě, která tlačí střížný materiál proti pevné desce nebo hladkému válci s možností rotace. Při opotřebování frézy i protikusu je možné pomocí stavěcího šroubu nastavit správnou vůli mezi přitlačnou deskou a frézovací hlavou, která je potřebná k odstřížení materiálu (Obr. 3).



*Obr. 3 Frézovací mechanismus [7]*



Výsledná drť má okrasnou funkci na záhonech nebo užitnou složku při výrobě kompostu. Velikost drtě záleží na velikosti frézy a počtu zubů. Na obrázku (Obr. 4) můžeme vidět frézovací jednotku, jejichž štěrka dosahuje délky až 13 cm a schopnost zpracovat větve do průměru 7 cm. V tomto případě je hlavní využití stroje pro tvorbu štěrky ke zplyňování.

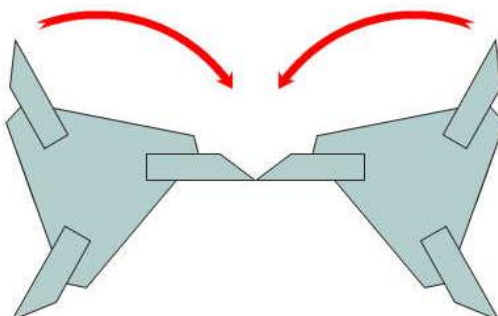


*Obr. 4 Frézovací jednotka [8]*

Otáčky frézovací jednotky se pohybují 40-50 ot.min<sup>-1</sup>. Vstupní otáčky od motoru je potřeba zredukovat planetovou převodovkou. V případě zpříčení větve a následného zastavení motoru je nutné přepnout ustrojí na reverzní chod, jinak může dojít k přetížení motoru a následně k jeho trvalému poškození.

### 2.1.2 PROTIBĚŽNÉ HŘÍDELE

Princip zpracování materiálu je samočinné vtahování větve mezi dva proti sobě rotující válce opatřené stejnými počty noží a následné přestřižení materiálu na délku špalíku o rozměrech 5-12 cm, závisícím na rozteči štěpkovacích hlav a počtu noží v nich osazených. Nejčastěji je štěpkovací hlava osazena třemi noži s nabroušeným ostrím pod úhlem 30° (Obr. 5), které se potkávají v jednom bodě a přestřihnou daný materiál.



*Obr. 5 Řez protiběžnými hlavami [6]*

Doporučená vůle mezi noži je cca 0,1 mm. Hlava držící nože je vyrobena z kulatiny a obrobena na požadované rozměry (Obr. 7). Ovšem je možné se setkat i s vyšším počtem nožů. Závislost délky štepky je přímo neúměrná počtu nožů. Další možností je vyrobení štěpkovací hlavy ze čtyřhranu, který je posléze osazen čtyřmi noži (Obr. 6). Hlavními rozdíly mezi variacemi je poloha potkání ostří proti sobě, následný stříh materiálu a výsledné silové působení na štěpkovací hlavy.



*Obr. 6 Protiběžné hřídele ze čtyřhranu [5]*



*Obr. 7 Protiběžné hřídele z kulatiny [21]*

Nejvýznamnějším českým výrobcem je firma Rojek, která používá systém protiběžných hřídelí (Obr. 5). Od roku 1992 tento patent vylepšila, avšak princip zůstává stejný dodnes.

### 2.1.3 TURBINECUT

Systém turbinecut je založen na principu frézovací hlavy, avšak jehož tělo je duté (Obr. 8), aby se štepka tunelem bezproblémově odkutálela do předpřipraveného boxu a nezpůsobovala zanesení mezer mezi zuby frézy. Na trhu je tato technologie nabízena firmou Bosh.



*Obr. 8 Turbinecut [9]*



### 2.1.4 DISKOVÝ

Tento typ drtiče je jeden z nejrozšířenějších na trhu. Hlavní výhodou je cena, jelikož konstrukční řešení drtiče je nejjednodušší. Drtič je osazen jedním až sedmi noži uloženými radiálně na talíři, který se točí vysokou rychlostí. Rozměr vzniklé drtě do 5 mm nachází hlavní uplatnění pro tvoření kompostu v menších drtičích nebo pro výrobu technologické štěrky v průmyslu. Problém snižující se obvodové rychlosti směrem ke středu talíře je kompenzován umístěním menšího vstupního otvoru směrem k obvodu disku. Tento fakt částečně omezuje maximální průměr vstupního materiálu. Dražší drtiče jsou osazeny vtahovacími válci, které napomáhají vtahování větví vstříc disku. Pokud nejsou vtahovací válce součástí drtiče, tak k drtiči jsou dodávány adaptéry, jenž pomáhají obsluze při vtlačování dřevní hmoty do drtiče a zároveň slouží při prevenci vzniku pracovních úrazů. Drtící mechanismus je velmi hlasitý a obsluha stroje je fyzicky velmi náročná.



*Obr. 9 Drtič větví Vares SHARK 2,2 kW [22]*

### 2.1.5 SPIRÁLOVÝ

Hlavní komponentou štěpkovače je konický šnek, který funguje na principu závitů. Vložený materiál se postupně vtahuje do štěpkovacího mechanismu, za kterým jsou nejčastěji umístěny vyhazovací lopatky usnadňující odvod materiálu skrz výfukový komín. Šnek má nabroušené obvodové hrany a otáčením šneku dochází k přitlačování větve šnekem na pevnou stěnu, kontinuální průstup materiálem a následný střih. Výhoda tohoto mechanismu je možnost zpracovávat odpad do průměru 15 cm. Délku štěrky lze ovlivnit stoupáním šneku, kde délka špalíku dosahuje až 30 cm, proto je vhodný pro energetickou štěrku.



Obr. 10 Délka špalíku 17 cm [23]



Obr. 11 Pirana Longa 4 kW [24]

### 2.1.6 BUBNOVÝ

Buben štěpkovače má na svém obvodu nože umístěné rovnoběžně s osou rotace bubnu. Nože však nemusí být dlouhé po celém bubnu, ale mohou být po obvodu odstupňovány pro snížení energetické náročnosti. Před samostatným vstupem jsou větve zmačkány podávacím válcem a tím je zvýšena efektivita a částečné omezení podélného štípání materiálu v případech, kdy se větev vzpříčí ve velkém vstupním otvoru. Nadrcená hmota putuje za buben odkud pásový dopravník odebírá drť, anebo je foukána komínem do přistaveného kontejneru či návěsu. Tento způsob se nejčastěji využívá ve dřevozpracovatelském průmyslu. Zde se nahnílé kmeny a kmeny s nízkou jakostí pro další výrobu rozdrťí a následně drť zužitkují při výrobě OSB desek, dřevotřísek, pelet apod.



Obr. 12 Bubnový štěpkovač Jensen JT 600 [11]



## 2.2 PODÁVÁNÍ

Podávání výrazným způsobem ovlivňuje efektivitu práce.

### 2.2.1 SAMOČINNÉ PODÁVÁNÍ

Konstrukce štěpkovačů je vymyšlena tak, aby při zpracování biomasy byla vyžadována co nejmenší pomoc obsluhy. Mezi samočinné stroje řadíme štěpkovače se šnekovým mechanismem, dvěma protiběžnými hřídelemi, jednotku s frézovací hlavou či turbinecut. Tyto typy štěpkovačů si materiál vtahují samy.

### 2.2.2 BEZ PODÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Diskový nebo bubnový mechanismus, až na výjimky, samočinně nevtahují materiál. V provedení násypky kolmo k zemi může obsluze ulehčit gravitační síla, ale při vyšší členitosti větví se drcení bez lidské síly neobejde.

### 2.2.3 S PODÁVACÍM ZAŘÍZENÍM

Podávací válce nebo kombinace válce a podávacího pásu (Obr. 13) je součástí sofistikovanějších strojů, které bývají využívány zejména k profesionálnímu použití. Pohánění podavače je přímým stykovým převodem od rotoru drtiče nebo pohánění podavače zajišťuje hydromotor napojený na hydraulický systém stroje.



*Obr. 13 Bubnový štěpkovač Vandaale [10]*

## 2.3 ROZDĚLENÍ DLE VÝKONU

Rozdělit drtiče a štěpkovače lze taky pomocí výkonu potřebného k rozdělení materiálu. Orientační výkony potřebné ke zpracování štěpky jsou v Tab. 4.

*Tab. 4 Vztah mezi tloušťkou štěpkovaného materiálu a potřebným výkonem [3], str. 341*

Tloušťka výřezu cm	Výkon motoru	
	kW	HP
20	40	50
30	90	122
40	160	218
50	250	340
60	360	490
70	490	667

### 2.3.1 ZAHRADNÍ

Drtiče jsou primárně určeny pro zpracování dřevního odpadu ze zahrad. Bývají osazeny elektrickým motorem o napětí 230 V, v ojedinělých případech benzínovým motorem do výkonu 7 HP. Vzniklá štěpka je určena pro kompostování či jako mulčovací kůra pro okrasu záhonů. Stroje jsou navrženy pro ruční manipulaci. Drtič je zpravidla opatřena madlem pro manipulaci a dvěma kolečky na rámu pro lehčí přepravu. V dolní části se může nacházet box na vzniklou štěpku či vyhazovací otvor. Maximální zpracovatelný průměr hmoty je do 40-50 mm.

### 2.3.2 MALÉ

Špalíkovače spadající do této třídy jsou bytelnější a určené i pro výrobu energetické štěpky. Hnací jednotkou může být traktor, elektromotor nebo spalovací motor do výkonu 40 kW. Hlavní využití naleznou v menších firmách, u údržby zeleně a v domácnostech s lesem, kde po těžbě vzniklé větve a kůru mohou jejich majitelé zužítkovat a spálit ve svých kotlích namísto v lese. Nesené štěpkovače s pásovým dopravníkem za traktorem mají často osazen závěs na přívěs, který majiteli usnadní práci při zpracování a naložení štěpky na přívěs. Další možností je využití pytlovacího systému, kdy dochází ke vhozu drceného materiálu do rašlových pytlů, respektive s možností následného uskladnění v nich.

### 2.3.3 STŘEDNÍ

Hlavní využití nacházejí tyto stroje ve firmách zabývajících se čištěním náletů, úklidem po těžbě apod. Výkon dosahující 100 kW je dostatečný pro zpracování materiálu o průměru 30 cm. Stroj je nejčastěji vyroben jako přívěs či návěs za osobní automobil či traktor s možností pohonu kardanem nebo vlastním spalovacím motorem. Stroje s vlastním motorem taktéž mohou být samohybné. Umístění drtiče na podvozku Tatra Phoenix 6x6 můžeme vidět níže na obrázku (Obr. 14).



*Obr. 14 Phoenix v provedení štěpkovač stromů 6x6 [12]*

#### 2.3.4 VELKÉ

Výkon strojů přesahující 100 kW je využit při průmyslové výrobě štěrky. Vícenápravové přívěsy nebo návěsy jsou homologovány na rychlost dosahující 80 km/hod a jsou zdárně přizpůsobeny k transportu na delší vzdálenosti. Zpracovávaný materiál dosahuje průměrů až 100 cm a stroje přesahují výkon 500 kW (Obr. 15). Tyto stroje, ať už jsou samohybné (Obr. 16) nebo i stacionární, jsou osazeny hydraulickou rukou s drapákem pro nakládání materiálu na dopravní pás, tak i dlouhým dopravníkem dosahujícím až 30 metrů nebo vyhazovacím komínem pro foukání štěrky na kamión a následný odvoz.



*Obr. 15 Štěpkovač DH 910 SA B, 565 kW [13]*





Obr. 16 Bubnový štěpkovač DH 812 LD, 350 kW [14]

## 2.4 ROZDĚLENÍ DLE POHONU

Zásadním rozhodnutím pro volbu pohonu je lokalita, kde bude štěpkovač používán. Pokud se nachází poblíž elektrické sítě, je ekonomičtější volbou osazení elektrického motoru. Jestli bude stroj využíván v terénu bez elektrické přípojky, je výhodnější opatřit štěpkovač spalovacím motorem nežli pořizovat elektrocentrálu dostatečného výkonu.

### 2.4.1 POHON ELEKTROMOTOREM

Největší výhodou elektromotoru je tichost jeho chodu, ekologie a menší energetická náročnost. Při jeho provozu nevznikají výfukové spaliny a jiné plyny, které by mohly znepríjemňovat práci obsluhy zařízení.

Elektromotory dělíme dle napětí do dvou hlavních kategorií na jednofázové a třífázové. V zásuvkách o napětí  $U_{1F} = 230\text{ V}$  může být maximální proud  $I_{1F} = 16\text{ A}$ . Z těchto důvodů jsou použity motory o maximálním příkonu  $P_{1F} = 3\,680\text{ W}$ . Tato hodnota je vypočítána dle rovnice (1).

$$\begin{aligned} P_{1F} &= U_{1F} \cdot I_{1F} [\text{W}] \\ P_{1F} &= 230 \cdot 16 = 3\,680\text{ W} \\ P_{1F} &= 3\,680\text{ W} \end{aligned} \tag{1}$$

kde	$P_{1F}$ – příkon jednofázové zásuvky	[W]
	$U_{1F}$ – napětí jednofázové zásuvky	[V]
	$I_{1F}$ – proud jednofázové zásuvky	[A]

Silnější motory již musí být zapojeny do třífázové sítě o napětí 400 V. V domácnostech se nejčastěji nacházejí zásuvky na 16 A a 32 A, výjimečně 64 A. Zde můžeme napojit již silnější stroje, jejichž výkon dosahuje 6,4 kW (16 A) respektive 12,8 kW (32 A).



*Obr. 17 Štěpkovače s elektromotorem 2,4-2,6 kW do průměru větví 40 mm [25]*

Další obrovskou výhodou oproti benzínovým motorům je okamžité přetížení motoru. Tato hodnota je určena výrobcem a pohybuje se v rozmezí 1,6-4,5. Tato hodnota určuje podíl závislosti maximálního momentu na nominálním. Motor toto přetížení musí vydržet po dobu minimálně 15 s. V praxi se používá standardně tato rezerva ke strižení maximálního rozměru vstupního materiálu. Ovšem trvalé přetížení není doporučováno, a proto je nutno mít elektronickou ochranu proti přetížení motoru.

#### 2.4.2 POHON SPALOVACÍM MOTOREM

Na trhu se objevují spalovací motory vznětové nebo zážehové. Nejčastěji se štěpkovače osazují motory od firmy Briggs&Stratton, Loncin, Honda, Lumag a další. Benzínové motory jsou voleny 4tákní. Jeden z důvodů je nižší hlučnost, nižší pracovní otáčky motoru a vlastní olejová náplň. Taktéž spotřeba paliva na motohodinu je nižší. Absence nutnosti oleje v benzínu, jak je tomu u 2táktů, způsobuje menší kouřivost, což ocení zejména obsluha stroje.



*Obr. 18 HECHT 6421 - motorový drtič větví [26]*



*Obr. 19 Štěpkovač Jensen A 530 XL [27]*



### 2.4.3 POHON HŘÍDELEM KARDANU

Nejlevnější variantou stejného typu štěpkovače je verze hnaná traktorem. Cenová úspora může činit částku mnohdy vyšší jak 15 000 Kč. Absence vlastního motoru vyžaduje nutnost mít traktor s dostatečně výkonnou pohonnou jednotkou. Kroutící moment je přenášen pomocí hřídele kardanu, který je opatřen nejčastěji zubovou spojkou nebo jinou ochranou proti nechtěnému přetížení, které by vedlo k poškození stroje. Nevýhoda tohoto provedení je nutnost provozovat motor traktoru, jehož výkon často nebývá zcela využit a náklady na motohodinu traktoru jsou vyšší, než kdyby byl štěpkovač osazen jednotkou o potřebném výkonu. Dalším aspektem je opotřebování převodovky a komponentů, které jsou potřebné k pohonu štěpkovače.

## 2.5 ROZDĚLENÍ DLE MANIPULACE – TRANSPORTU

Při koupi štěpkovače chce mít zákazník téměř vždy možnost manipulace se strojem. Jen ve výjimečných případech je štěpkovač umístěn stacionárně. Proto se na našem trhu objevuje široká škála možností ulehčujících manipulaci se stroji.

### 2.5.1 NESENÉ KONSTRUKCE ZA TRAKTOREM

Samonosná konstrukce štěpkovače je uložena v třibodovém závěsu traktoru. Tento závěs se nejčastěji nachází v zadní části traktoru, ale u některých modelů traktoru je možné zavěsit stroj do předního závěsu. Tato možnost je často využívána v případech, kdy obsluha před traktorem vyřezává nálety a klestí, a tím tvoří průjezd traktoru. Konstrukční výhodou je průchodnost terénem, která je stejná jako průjezdnost traktoru, na němž je zavěšena.

### 2.5.2 SAMOHYBNÉ STROJE

Podvozky strojů jsou pásové (Obr. 20), kolové, a jejich pohon je mechanický nebo hydraulický. Vlastní pohonná jednotka stroje zajišťuje v době manipulace pohon hydrogenerátoru nebo převodovky v případě mechanického pohánění kol, a při zpracovávání dřevní hmoty se výkon přenáší pouze na drtící jednotku. Samohybné stroje je možno řídit pomocí dálkového ovládání nebo přímo z kabiny stroje.



Obr. 20 Diskový štěpkovač PZ 110 [15]



### 2.5.3 STROJE S VLASTNÍM PODVOZKEM

Zahradní drtiče a malé štěpkovače se vyrábí v provedení s vlastním podvozkem. První možností je osazení stroje třemi či čtyřmi koly (Obr. 21), jedno či dvě jsou otáčecí a dvě jsou pevná, nebo v provedení dvou pevných kol a dvou podpůrných nožek (Obr. 19). Manipulace s těmito štěpkovači je pro člověka náročná, proto se hodí pro přepravu na kratší vzdálenosti.



Obr. 21 Pirba 11 kW [28]

### 2.5.4 STROJE NA PŘÍVĚSU

Stroje upevněné na přívěsu nebo návěsu je možné zapojit za tažné zařízení automobilu – kouli (Obr. 22) eventuálně do závěsu traktoru. S homologovaným přívěsem lze jezdit na pozemních komunikacích. Drtící ústrojí nejčastěji pohání vlastní spalovací jednotka.



Obr. 22 URBAN SMH70 s točnou a dopravníkem 2,6 m [29]

### 3 PŘÍSLUŠENSTVÍ PRO ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY

Zvýšením efektivity práce lze docílit zvýšení produktivity stroje.

#### 3.1 PÁSOVÝ DOPRAVNÍK

Pásovým dopravníkem je dopravována štěrka na přistavený návěs či přívěs, který odveze štěrku do místa zpracování. Hlavní výhodou je kontinuální odebrání zpracovaného materiálu od mechanismu. Délky dopravníků se pohybují u menších strojů okolo 2-3 metrů (Obr. 22), zatím co velké průmyslové štěpkovací linky mají dopravníky v řádech desítek metrů.

#### 3.2 PYTLOVACÍ ZAŘÍZENÍ

Výhoda pytlovacího zařízení je ta, že obsluze padá materiál přímo do pytlů. Tímto odpadá přídatná práce s manipulací a stačí již pouze dopravit pytle do místa skladování. Nejčastější využití nachází při malovýrobě.

##### 3.2.1 PYTLOVACÍ ZAŘÍZENÍ NA RAŠLOVÉ PYTLE

Pytlovací zařízení na 2 pytle má výhodu v možnostech přepínání naplňování pytlů, kdy jeden pytel je plněn štěpkou a druhý pytel obsluha vyměňuje. U tohoto zařízení je nezbytně nutná dvou a více členná obsluha. Manipulace s pytlí není náročná, ale váha pytlů může atakovat hranici 50 kg. Tato hodnota velmi závisí na druhu zpracovávaného materiálu, vlhkosti a hustotě.



*Obr. 23 Nesený štěpkovač s hřídelí poháněnou od náhonu traktoru s pytlováním [30]*

### 3.2.2 PYTLOVACÍ ZAŘÍZENÍ NA BIG BAGY

Pytlovací zařízení na big bagy je využívanější u firem na zpracování zbytků dřeva, kde mají techniku pro manipulaci s big bagy. Naplněné big bagy dle velikosti překračují váhu 200 kg, tak kromě manipulační techniky není možné s nimi jinak pohnout. Pro tento způsob jsou přizpůsobeny traktory, které mají obvykle v přední části přidavné vidle. Ve firmách se zpevněným povrchem taktéž využívají vysokozdvizné vozíky.

### 3.3 KOMÍN

Komín je umístěn za štěpkovacím ústrojím. Foukání štěpky skrz komín zajišťuje rotor osazen výhozovými lopatkami, který dodává štěpce odstředivou silou potřebnou setrvačnou energii. Tímto způsobem lze štěpku foukat na připojený návěs nebo do skladovací haly nebo sila. Komín má možnost adaptability, kdy se na místo koncovky osadí držák na pytle a štěpky se foukají přímo do pytlů na přívěsu.



*Obr. 24 Barakuda s připojením vlečky [31]*

## 4 VLASTNÍ NÁVRH A KONSTRUKCE ŠTĚPKOVAČE

Z výsledků rešerší jsem se po konzultaci s vedoucím práce dohodl na provedení štěpkovače pro zpracování kletí a odkorků v domácnostech. Jako efektivně výhodný princip se jevil mechanismus s protiběžnými hřídelemi. Pro využití zpracované biomasy ke spalování v kotlích na tuhá paliva a následné vytápění domu bude každá hřídel osazena třemi noži proti sobě. Pro vyšší výkonnost obsluhy, jednodušší vkládání a vtahování dřevní hmoty do stroje je zvolena šířka nože 200 mm. Celková životnost stroje bude koncipována na 5 000 hodin.

### 4.1 MOTOR S PŘEVODOVKOU

Z rešeršní práce jsem jako orientační vstupní parametr zvolil motor o výkonu 5 kW. Následně byl tento předpoklad ověřen výpočtem závislosti výkonu motoru na průměru větví [3].

$$P_{tp} = \frac{D_{m \max}^2}{10} [kW] \quad (2)$$

$$P_{tp} = \frac{7^2}{10} = 4,9 [kW]$$

$$P_{tp} = 5 kW$$

kde  $P_{tp}$  – potřebný výkon motoru [kW]  
 $D_{m \max}$  – maximální průměr vstupního materiálu [cm]

Poptávka na motor o výkonu  $P_{tp} = 5 kW$  s žádostí o model byla odeslána dodavatelům elektrozařízení na trhu. Italský výrobce MOTIVE s.r.l nabídl set 5 kW motoru s převodovkou o požadovaných parametrech. Výstupní hodnoty  $n_{out} = 344 \min^{-1}$ , kroučící moment  $M_{out} = 130,4 Nm$  a momentová přetížitelnost motoru  $k_M = 3,1$  jsou dostačující pro náš případ.

### 4.2 ČELNÍ SOUKOLÍ

Prodejci s ozubenými koly ŘETĚZY Olomouc, spol. s r.o. byla zaslána objednávka na dvě ozubená kola a jeden pastorek v převodovém poměru 1:2. Vstupní hodnoty pro návrh kola byly zadány  $P_{tp} = 5 kW$  a přibližná osová vzdálenost mezi koly cca 170 mm s životností min. 5 000 hodin. Tato hodnota byla určena z průměru hřídele válce a požadované průchodnosti mezi válci.

Při emailové komunikaci s odborníkem [17] byl dán návrh na ozubení modulu 4 mm a pro požadovaný převod a vzdálenost os počet zubů 20 respektive 40. Problém tohoto soukolí je v nestejném opotřebování kol, proto byl zvolen počet zubů pastorku  $z_1 = 21$  a kola  $z_2 = 40$ . Tato kola budou dodána s modulem  $m_z = 4 mm$  a šířce kol  $b_z = 40 mm$ . Pro požadovanou životnost těchto kol při mazání plastickým mazivem budou dodány kola z oceli C45 s povrchovou úpravou. Doporučený průměr díry pastorku  $D_P = 32 mm$  a kola  $D_{K1} = 40 mm$ . Jak pastorek, tak jedno kolo jsou opatřeny drážkou pro pero. Druhé ozubené kolo s větším průměrem díry bude opatřeno svěrným pouzdrem z důvodu vyšší přesnosti montáže spoluzabírajících nožových hlav.



Obr. 25 Ozubená kola [36]

#### 4.2.1 URČENÍ PŘEVODOVÉHO STUPNĚ

$$i = \frac{z_2}{z_1} [-] \quad (3)$$

$$i = \frac{40}{21} = 1,905$$

$$i = 1,905$$

kde

i – převodový poměr	[-]
z <sub>1</sub> – počet zubů pastorku	[-]
z <sub>2</sub> – počet zubů kola	[-]

#### 4.2.2 VÝPOČET KROUTÍCÍHO MOMENTU NA OZUBENÉM KOLE

Výčet kroucího momentu v ozubených kolech získáme hodnotu pro určení svěrného pouzdra.

$$M_{K2} = \frac{M_{out} \cdot i}{h_n} \cdot \eta [Nm] \quad (4)$$

$$M_{K2} = \frac{130,4 \cdot 1,905}{2} \cdot 0,99 = 123 Nm$$

$$M_{K2} = 123 Nm$$

kde

M <sub>K2</sub> – kroucí moment na ozubeném kole	[Nm]
M <sub>out</sub> – výstupní moment z převodovky	[Nm]
h <sub>n</sub> – počet hnaných hřídelů s noži	[-]
η – účinnost převodu ozubeným kolem	[-]



### 4.3 VÝPOČET PERA PASTORKU

Přenos kroutícího momentu z převodovky na hřídel pastorku a následně na pastorek je řešen pomocí pera. Průměr díry pastorku byl dodavatelem doporučen  $D_p = 32 \text{ mm}$ .

#### 4.3.1 DOVOLENÝ TLAK NA BOK PERA

$$\begin{aligned} p_D &= p_0 \cdot k_{pd} [\text{MPa}] \\ p_D &= 200 \cdot 0,6 = 120 \text{ MPa} \\ p_D &= 120 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (5)$$

kde  $p_D$  – dovořený tlak v drážce pera [MPa]  
 $p_0$  – základní hodnota tlaku v náboji [1, str. 1081] [MPa]  
 $k_{pd}$  – koeficient dle typu zatížení [1, str. 1081] [-]

#### 4.3.2 OBVODOVÁ SÍLA V PERU

$$\begin{aligned} F_{ODP} &= \frac{2 \cdot M_{out}}{D_p} [\text{N}] \\ F_{ODP} &= \frac{2 \cdot 130,4}{32 \cdot 10^{-3}} = 8\,150 \text{ N} \\ F_{ODP} &= 8\,150 \text{ N} \end{aligned} \quad (6)$$

kde  $F_{ODP}$  – obvodová síla na peru [N]

#### 4.3.3 MINIMÁLNÍ DÉLKA PERA PASTORKU

$$\begin{aligned} l_{pP} &= \frac{F_{ODP}}{p_D \cdot t_{pP}} + b_{pP} [\text{mm}] \\ l_{pP} &= \frac{8\,150}{120 \cdot 3,3} + 10 = 30,6 \text{ mm} \\ l_{pP} &= 36 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7)$$

kde  $l_{pP}$  – délka pera pastorku [2] [mm]  
 $t_{pP}$  – hloubka drážky v náboji pastorku [1] [mm]  
 $b_{pP}$  – šířka pera pastorku [1] [mm]

### 4.4 VÝPOČET PERA OZUBENÉHO KOLA

Výpočet pera ozubeného kola provedeme analogicky jako u pastorku.

#### 4.4.1 OBVODOVÁ SÍLA V PERU

$$\begin{aligned} F_{ODK1} &= \frac{2 \cdot M_{K2}}{D_{K1}} [\text{N}] \\ F_{ODK1} &= \frac{2 \cdot 123}{40 \cdot 10^{-3}} = 6\,150 \text{ N} \\ F_{ODK1} &= 6\,150 \text{ N} \end{aligned} \quad (8)$$

kde  $F_{ODK1}$  – obvodová síla na peru kola [N]

#### 4.4.2 MINIMÁLNÍ DÉLKA PERA

$$l_{pK1} = \frac{F_{ODK1}}{p_D \cdot t_{PK1}} + b_{PK1} \text{ [mm]} \quad (9)$$

$$l_{pK1} = \frac{6\,150}{120 \cdot 3,1} + 12 = 16,5 \text{ mm}$$

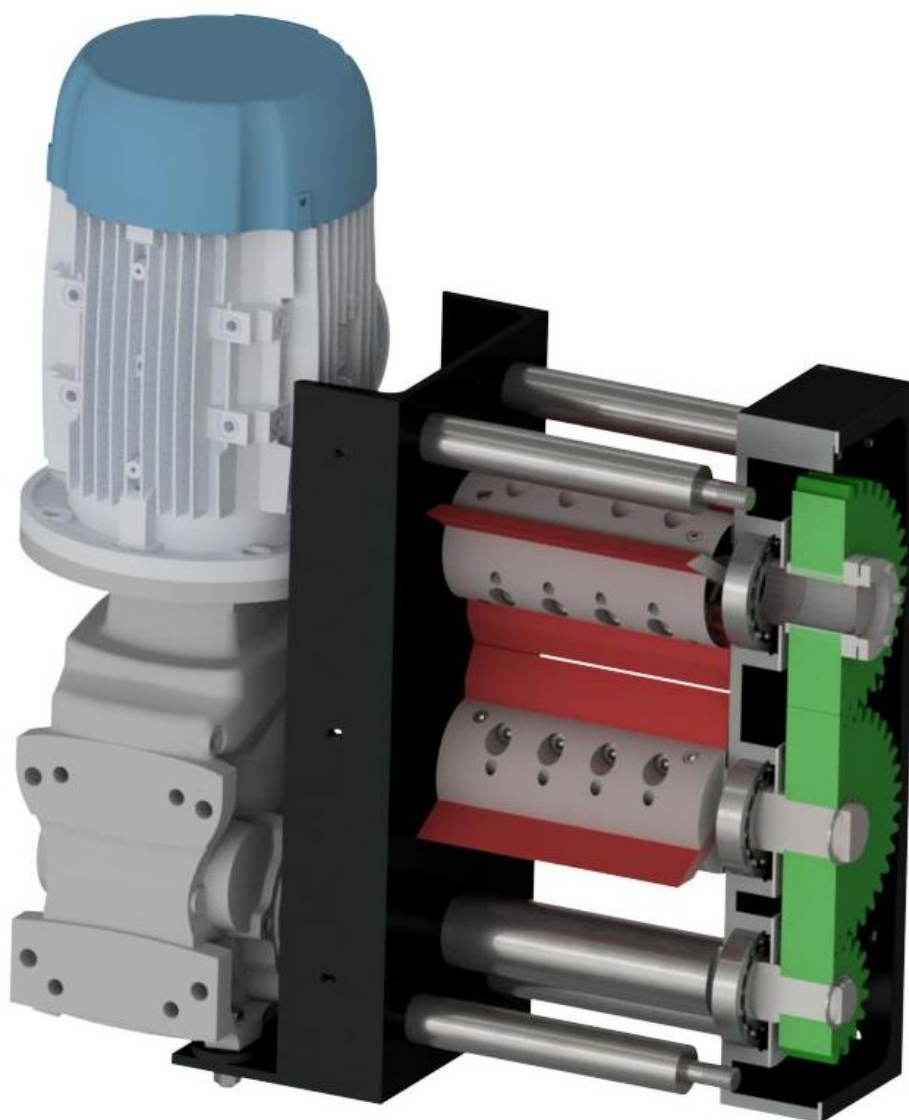
$$l_{pK1} = 40 \text{ mm}$$

kde

$l_{pK1}$ – délka pera kola [2]	[mm]
$t_{pK1}$ – hloubka drážky v náboji kola [1, str. 1078]	[mm]
$b_{pK1}$ – šířka pera kola [1, str. 1078]	[mm]

#### 4.5 ŽIVOTNOST LOŽISEK PŘEDLOHOVÉ HŘÍDELE

Pro výpočet trvanlivosti ložisek musíme nejprve zjistit silové působení ve stroji.



Obr. 26 Štěpkovací jednotka s pohonem

#### 4.5.1 VÝPOČET REAKČNÍCH SIL V OZUBENÍ

$$\begin{aligned}
 F_{pastX} &= \frac{2M_{out}}{D_{past}} \cdot \cos(\alpha) \text{ [N]} \\
 F_{pastX} &= \frac{2 \cdot 130,4}{81 \cdot 10^{-3}} \cdot \cos(20^\circ) = 3\,025,6 \text{ N} \\
 F_{pastX} &= 3\,025,6 \text{ N} \\
 F_{pastY} &= \frac{2M_{out}}{D_{past}} \cdot \sin(\alpha) \text{ [N]} \\
 F_{pastY} &= \frac{2 \cdot 130,4}{81 \cdot 10^{-3}} \cdot \sin(20^\circ) = 1\,101,2 \text{ N} \\
 F_{pastY} &= 1\,101,2 \text{ N} \\
 F_{past} &= \sqrt{F_{pastX}^2 + F_{pastY}^2} \text{ [N]} \\
 F_{past} &= \sqrt{3\,025,6^2 + 1\,101,2^2} = 3\,220 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{10}$$

kde  $F_{pastX}$  – síla působící v pastorku v rovině XZ [N]  
 $F_{pastY}$  – síla působící v pastorku v rovině YZ [N]  
 $F_{past}$  – výsledná síla působící v pastorku [N]  
 $D_{past}$  – roztečná kružnice pastorku [mm]

#### 4.5.2 VÝPOČET SIL V LOŽISCÍCH

Výpočet provádíme pro obě ložiska. Z důvodu zjednodušení výroby budou ložiska po obou stranách stejné.

##### VÝPOČET SIL LOŽISKA ULOŽENÉHO BLÍŽ K PASTORKU.

$$\begin{aligned}
 F_{LoPBx} &= F_{pastX} \cdot \frac{l_{AK}}{l_{AB}} \text{ [N]} \\
 F_{LoPBx} &= 1\,101,2 \cdot \frac{287}{242} = 1\,306 \text{ N} \\
 F_{LoPBx} &= 1\,306 \text{ N} \\
 F_{LoPBy} &= F_{pastY} \cdot \frac{l_{AK}}{l_{AB}} \text{ [N]} \\
 F_{LoPBy} &= 3\,025,6 \cdot \frac{287}{242} = 3\,588,2 \text{ N} \\
 F_{LoPBy} &= 3\,588,2 \text{ N} \\
 F_{LoPB} &= \sqrt{F_{LoPBx}^2 + F_{LoPBy}^2} \text{ [N]} \\
 F_{LoPB} &= \sqrt{1\,306^2 + 3\,588,2^2} = 3\,818,5 \text{ N} \\
 F_{LoPB} &= 3\,818,5 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{11}$$

kde  $F_{LoPBx}$  – síla v ložisku působící v rovině XZ [N]  
 $F_{LoPBy}$  – síla v ložisku působící v rovině YZ [N]  
 $F_{LoPB}$  – síla působící v ložisku B [N]  
 $l_{AB}$  – vzdálenost mezi středy ložisek [mm]  
 $l_{AK}$  – vzdálenost mezi středy ložiska a pastorku [mm]



**VÝPOČET SIL LOŽISKA ULOŽENÉHO BLÍŽ K HNACÍMU ÚSTROJÍ**

$$\begin{aligned}
 F_{LoPAx} &= F_{pastX} \cdot \frac{l_{BK}}{l_{AB}} [N] \\
 F_{LoPAx} &= 1\,101,2 \cdot \frac{45}{242} = 204,8\,N \\
 F_{LoPAx} &= 204,8\,N \\
 F_{LoPAy} &= F_{pastY} \cdot \frac{l_{BK}}{l_{AB}} [N] \\
 F_{LoPAy} &= 3\,025,6 \cdot \frac{45}{242} = 562,6\,N \\
 F_{LoPAy} &= 562,6\,N \\
 F_{LoPA} &= \sqrt{F_{LoPAx}^2 + F_{LoPAy}^2} [N] \\
 F_{LoPA} &= \sqrt{204,8^2 + 562,6^2} = 598,7\,N \\
 F_{LoPA} &= 598,7\,N
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

kde  $F_{LoPAx}$  – síla v ložisku působící v rovině XZ [N]  
 $F_{LoPAy}$  – síla v ložisku působící v rovině YZ [N]  
 $F_{LoPA}$  – síla působící v ložisku B [N]  
 $l_{BK}$  – vzdálenost mezi středy ložiska a pastorku [mm]

Z výpočtu je zřejmé, že více namáhané bude ložisko B, které je blíže k ozubenému převodu.

**4.5.3 VOLBA LOŽISKA**

Pro volbu ložiska můžeme využít kalkulátor výrobce nebo použít výpočet z jednoduché rovnice (13), která uvádí pouze orientační hodnotu. Každý výrobce má svoji kvalitu zpracování, která ovlivňuje trvanlivost ložisek.

$$\begin{aligned}
 C_t &= \sqrt[3]{L_{5\,000} \frac{60 \cdot n_{out}}{10^6 \cdot k_{SL}} \cdot F_{LoPB}} [N] \\
 C_t &= \sqrt[3]{5\,000 \cdot \frac{60 \cdot 344}{10^6 \cdot 0,25}} \cdot 3\,818,5 = 28\,432\,N \\
 C_t &= 28\,432\,N
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

kde  $L_{5\,000}$  – požadovaná minimální trvanlivost ložiska [hod]  
 $C_t$  – teoretická minimální dynamická únosnost ložiska [N]  
 $k_{SL}$  – koeficient spolehlivosti ložiska 99,5 % [1]

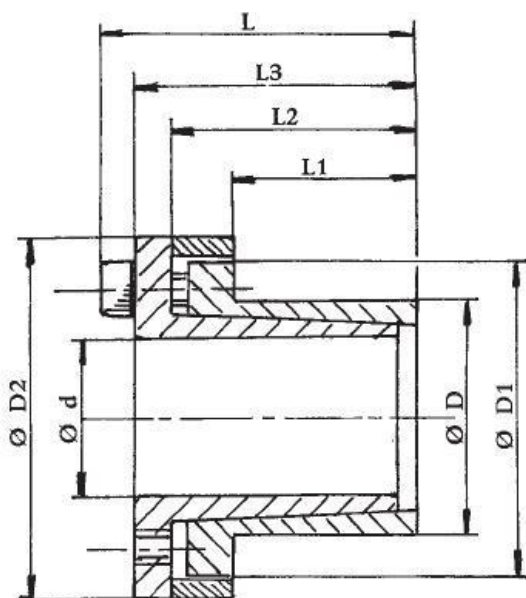
Z výpočtu nám vyšla minimální dynamická únosnost ložiska  $C_t = 28\,432\,N$ . V katalogu výrobce jsem hledal ložisko s nejbližší vyšší únosností, a tyto požadavky splnilo ložisko 6209-2RSH.

Ložisko má dynamickou únosnost  $C_{Lo} = 35,1\,kN$ , vnitřní průměr  $d_{Lo} = 45\,mm$ , vnější průměr  $D_{Lo} = 85\,mm$  s šířkou  $b_{Lo} = 19\,mm$ . Dle těchto rozměrů jsou následně vyrobené osazení na ložiska a hřídel, která je poté broušena na přesnost IT6.

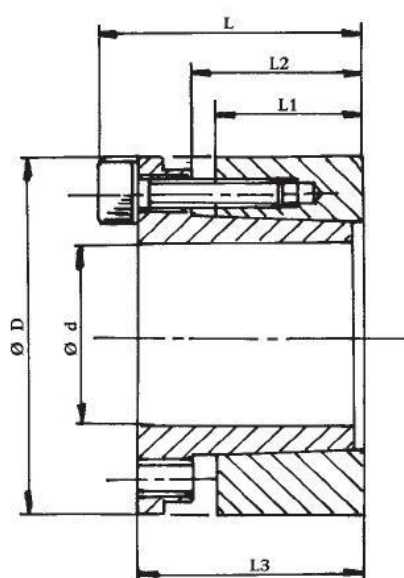
Ložisko je opatřeno pryžovými krytkami a dodáno s náplní plastického maziva, které by mělo vydržet po celou dobu životnosti ložiska. Další nesmírnou výhodou je ochrana proti vnikání nečistot do ložiska jako jsou piliny, třísky a prach. Díky tomu nemusíme hřídele osazovat kryty proti vnikání nečistot jako jsou gufera, těsnící kroužky apod. Zjednodušením konstrukce hřídele jsme dosáhli snížení výrobních nákladů z hlediska broušených ploch pro gufera a úsporu materiálu.

#### 4.6 VOLBA SVĚRNÉHO POUZDRA

Svěrné pouzdro vybíráme tak, aby splňovalo parametry  $d_{SV} = D_{K1} = 40 \text{ mm}$  a minimální přenos kroutícího momentu byl  $M_{K2} = 123 \text{ Nm}$ . Pro snížení nákladů na dopravu jsme vybírali svěrné pouzdro u stejného dodavatele jako ozubená kola. V jeho portfoliu můžeme nalézt modely RCK 70, RCK 71, RCK 80.



Obr. 27 Samostředící svěrné pouzdro RCK 80 [33]



Obr. 28 Samostředící svěrné pouzdro RCK 70 [32]

Vybrané samostředící svěrné hřídelové pouzdro RCK 80-40x53 je vhodné pro sestavy do náboje zaručující jak axiální tak radiální polohu a přenos středních kroutících momentů. Možnost přenést maximální kroutící moment  $900 \text{ Nm}$  plně dostačuje našim požadavkům. Výrobce uvedená díra pro náboj je  $D_{K2} = 53 \text{ mm}$  s doporučenou obráběcí tolerancí H8. Celková délka  $L_{SV} = 58,5 \text{ mm}$  a možnost uložení v náboji  $L_{1SV} = 31,5 \text{ mm}$ , což umožňuje částečné zapuštění svěrného pouzdra do náboje kola.

#### 4.7 VÝPOČET PŘEDLOHOVÉ HŘÍDELE

Prováděné výpočty jsou zjednodušené a provedené dle základních znalostí pevnosti pružnosti.

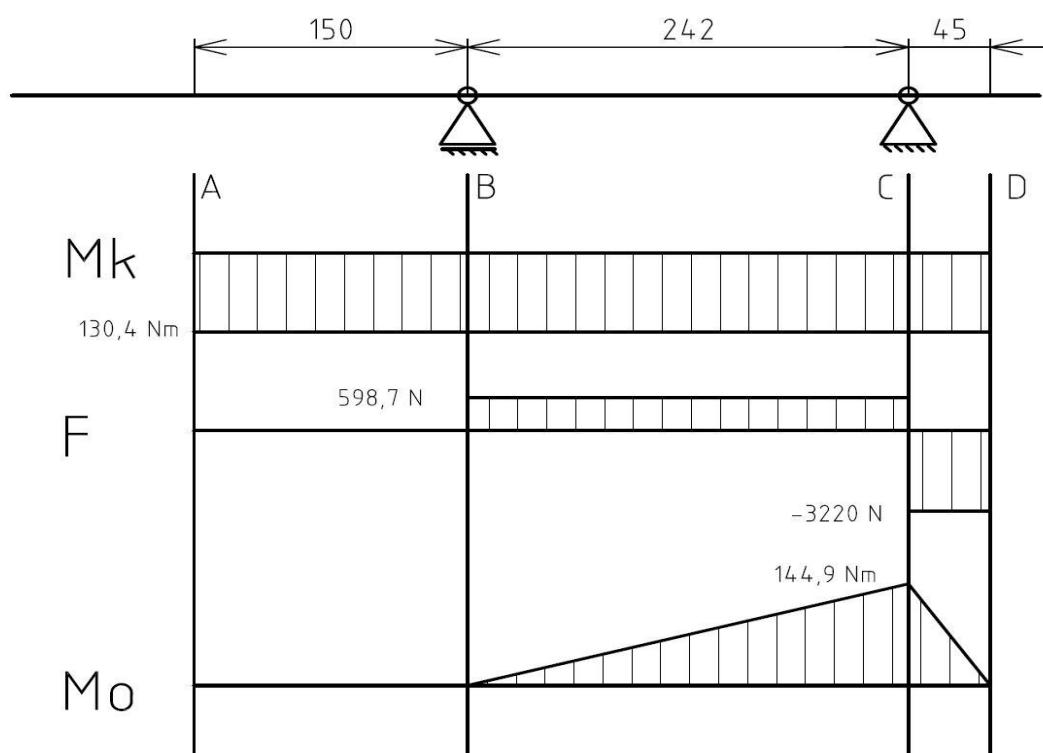
##### 4.7.1 SILOVÉ ZATÍŽENÍ HŘÍDELE

Pro výpočet budeme potřebovat vypočtené hodnoty, které působí v daných bodech. Pro tyto body zvlášť bude určeno výsledné napětí a bezpečnost.

V bodě A je umístěno pero pro přenos kroutícího momentu z převodovky  $M_{out} = 130,4 \text{ Nm}$ , v bodě B reakční síla od ložiska A  $F_{LoPA} = 598,7 \text{ N}$ , v bodě C reakční síla od ložiska B  $F_{LoPB} = 3818,5 \text{ N}$ . V bodě D je přes těsné pero přenášen moment  $M_{out} = 130,4 \text{ Nm}$  na štěpkovací válec.



Obr. 29 Předlohová hřídel štěpkovače 3D vizualizace



Obr. 30 Průběh silového zatížení předlohového hřídele

#### 4.7.2 VÝPOČET BEZPEČNOSTI HŘÍDELE

Pro výrobu zařízení je důležitá bezpečnost obsluhy. Jako dostatečnou bezpečnost vůči trvalé deformaci považují hodnotu  $k_{min} = 3$ . Pro materiál E295 z kterého je hřídel vyrobena jsou tabelované hodnoty pro namáhání v ohybu  $\sigma_{Dov} = 250 \text{ MPa}$ , a pro namáhání hřídele v krutu  $\tau_{Dov} = 140 \text{ MPa}$

##### BOD A

V hřídeli o průměru  $D_A = 40 \text{ mm}$  je drážka pro pero, kterou v této situaci budeme počítat jako vrub se součinitelem  $\alpha_A = \alpha_{A\tau} = 2,6$  [34, str. 10]. Jediný moment zde působící je  $M_{out} = 130,4 \text{ Nm}$ .

$$\tau_A = \frac{16 \cdot M_{out}}{\pi \cdot D_A^3} [MPa] \quad (14)$$

$$\tau_A = \frac{16 \cdot 130,4}{\pi \cdot (40 \cdot 10^{-3})^3} = 10,38 MPa$$

$$\tau_A = 10,38 MPa$$

kde  $D_A$  – Průměr připojovací hřídele do převodovky [mm]  
 $\tau_A$  – Napětí v krutu [MPa]

$$k_{AT} = \frac{\tau_{Dov}}{\tau_A \cdot \alpha_\tau} [-] \quad (15)$$

$$k_{AT} = \frac{140}{10,38 \cdot 2,6} = 5,19$$

$$k_{AT} = 5,19$$

kde  $\tau_{Dov}$  – Maximální dovolené napětí v krutu [mm]  
 $\alpha_{AT}$  – Součinitel vrubu v krutu [-]  
 $k_{AT}$  – Koefficient bezpečnosti v krutu [-]

### Bod B

Z důvodu stejného průměru jako v bodě C, avšak bez ohybového momentu, tento bod vynechávám, jelikož jeho výsledná bezpečnost bude vyšší jak v bodě C.

### Bod C

V tomto místě o průměru  $d_{Lo} = 45 mm$  jsou působí momenty  $M_{out} = 130,4 Nm$  a  $M_C = 144,9 Nm$ .

$$\sigma_C = \frac{32 \cdot M_C}{\pi \cdot d_{Lo}^3} [MPa] \quad (16)$$

$$\sigma_C = \frac{32 \cdot 144,9}{\pi \cdot (45 \cdot 10^{-3})^3} = 16,2 MPa$$

$$\sigma_C = 16,2 MPa$$

kde  $M_C$  – Ohybový moment [Nm]  
 $\sigma_C$  – Napětí v ohybu [MPa]

$$\tau_C = \frac{16 \cdot M_{out}}{\pi \cdot d_{Lo}^3} [MPa] \quad (17)$$

$$\tau_C = \frac{16 \cdot 130,4}{\pi \cdot (45 \cdot 10^{-3})^3} = 7,29 MPa$$

$$\tau_C = 7,29 MPa$$

kde  $\tau_C$  – Napětí v krutu [MPa]

Z důvodu namáhání hřídele krutem i ohybem zároveň, tak pro výpočet bezpečnosti volím metodu HMM.

$$k_C = \frac{\sigma_{Dov}}{\sqrt{3\tau_C^2 + \sigma_C^2}} [-] \quad (18)$$

$$k_C = \frac{250}{\sqrt{3 \cdot 7,29^2 + 16,2^2}} = 12,17$$

$$k_C = 12,17$$

kde  $k_C$  – koeficient bezpečnosti [-]

### Bod D

V tomto bodě o průměru  $D_p = 32 \text{ mm}$  opětovně působí pouze krut od momentu  $M_{out} = 130,4 \text{ Nm}$ , který se přenáší přes těsné pero na pastorek. Koeficienty součinitelů vrubu jsou  $\alpha_D = 2,5$  a  $\alpha_{D\tau} = 2,2$ .

$$\tau_D = \frac{16 \cdot M_{out}}{\pi \cdot D_p^3} [\text{MPa}] \quad (19)$$

$$\tau_D = \frac{16 \cdot 130,4}{\pi \cdot (32 \cdot 10^{-3})^3} = 20,27 \text{ MPa}$$

$$\tau_D = 20,27 \text{ MPa}$$

kde  $\tau_D$  – Napětí v krutu [MPa]

$$k_D = \frac{\tau_{Dov}}{\tau_D \cdot \alpha_{D\tau}} [-] \quad (20)$$

$$k_D = \frac{140}{20,27 \cdot 2,2} = 3,14$$

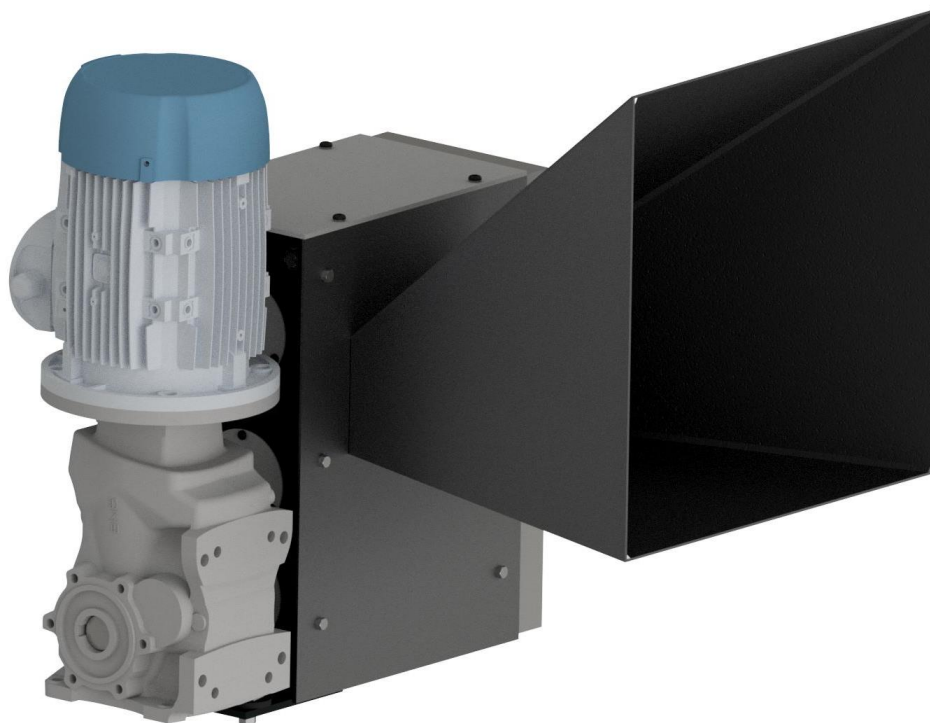
$$k_D = 3,14$$

kde  $k_D$  – koeficient bezpečnosti v krutu [-]

Hřídel splnila ve všech bodech výpočet bezpečnosti, jejichž nejnižší hodnota je  $k_D = 3,14$ . Hřídel v oblasti umístění převodovky je obrobena na rozměr s tolerancí f6. Hlavním důvodem je snadná manipulace s převodovkou a v případě předělání štěpkovače na možnost hnání kardanem traktoru je možné na hřídel osadit zubovou spojku proti přetížení.

## 5 REALIZACE

Při realizaci projektu byla zvolena levnější varianta, kdy byl zaměněn set motoru s převodovkou za pohon přes dva klínové řemeny. Díky této alternativní variantě bylo



*Obr. 31 3D model štěpkovače*



*Obr. 32 Realizace štěpkovače*



ušetřeno cca 10 000 Kč. Štěpkovač je osazen na nosném rámu se dvěma koly. Na rámu je přivařen držák pro odnímací oje, které lze při převozu stroje připojit do závěsu traktoru. Stabilitu samostatně stojícího štěpkovače zajišťují tři výsuvné, výškově nastavitelné podpěry. Motor je připevněn pomocí napínacích šroubů, kterými lze zajistit potřebné předepnutí klínových řemenů. Díky řemenovému převodu je možné snadno vyměnit elektromotor za spalovací motor o výkonu vyšším jak 6,5 Hp. Pro variantu štěpkovače s elektromotorem je potřebné stroj osadit reverzním vypínačem typu Y/D. Přívod elektrické energie je řešen připevněním elektrické zásuvky 400 V/32 A k rámu stroje. Motor proti přetížení je vybaven teplotními čidly ve vinutí a proudovým chráničem. Trychtýř je svařen z plechu o tloušťce 3 mm a na vstupu po obvodu vyztužen trubkou 22x2,6 mm. Antikorozní nátěr štěpkovače je proveden v odstínu RAL 9005. Štěpkovač je využíván ke zpracování větví do průměru 70 mm.



## ZÁVĚR

V této práci je zpracována rešerše hlavních typů používaných drtičů a štěpkovačů pro výrobu nejen energetické štěpky. Z výsledků rešeršní práce byl vybrán mechanismus, který se jevil jak z hlediska finančního, tak efektivity a jednoduchosti výroby nejlépe s využitím u rodinných domů se zahradou s ovocnými stromy nebo malým lesem. Štepka bude následně sloužit k vytápění rodinného domu a k ohřevu teplé užitkové vody. Stroj pro výrobu energetické štěpky byl navržen v 3D modelu a vypočítán za pomoci znalostí z pevnosti pružnosti a konstruování. Výrobní výkresy byly nakresleny v aplikacích AutoCAD 2018 a Inventor 2019, obojí od firmy Autodesk, Inc. Výsledná práce byla realizována jak modelem, tak samotnou stavbou malého štěpkovače. Výkonnost stroje dosahující 2-4 m<sup>3</sup>/hod zpracované štěpky záleží, jak na šikovnosti obsluhy, tak i členitosti jednotlivých větví, které jsou zpracovávány. Další zvýšení efektivity stroje je možné dosáhnout montáží pásového dopravníku, který by urychlil odebrání štěpky od stroje a dopravu na přistavený přívěs.

Celková náročnost na výrobu stroje byla 22 hodin frézování, 18 hodin soustružení, přes 4 hodiny svařování. U dalších výrobních operací jsem nebyl součástí. Přibližná výrobní cena stroje činila 20 000 Kč bez setu motoru s převodovkou.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-802-1426-290.
- [2] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-807-2048-380.
- [3] NERUDA, Jindřich. *Technika a technologie v lesnictví: učební text pro předměty Technika a technologie v lesnictví, Základní procesy těžby a dopravy dříví, Technika a technologie lesní těžby a Technika a technologie dopravy dříví. 2., přeprac. vyd.* V Brně: Mendelova univerzita, 2015. ISBN 978-80-7509-191-8.
- [4] GANDELOVÁ, Libuše, Petr HORÁČEK a Jarmila ŠLEZINGEROVÁ. *Nauka o dřevě*. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009. ISBN 978-80-7375-312-2.
- [5] Protiběžné hřídele ze čtyřhranu. In: *Bazoš.cz* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://dum.bazos.cz/inzerat/103579185/Stepkovac-Spalikovac-8-nozova-jednotka.php>
- [6] Řez nožovými hřídelemi. In: *ROJEK dřevoobráběcí stroje a.s.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.rojek.cz/img/detail/DH10noze-500.JPG>
- [7] Frézovací mechanismus. In: *ZZN Hospodářské potřeby, a.s.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.zznhp.cz/e-shop/5094-drtec-vetvi-al-ko-easy-crush-lh-2800-valcovy-system-112853>
- [8] Frézovací jednotka. In: *Našetraktory.cz* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.nasetraktory.eu/forum/download/file.php?id=73540&mode=view>
- [9] Turbinecut. In: *Shpock* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.shpock.com/en-gb/i/Wolgt-GRwzHcE4nw/bosch-axt-25-tc-wood-chipper>
- [10] Bubnový štěpkovač Vandaele. In: *FOREST MERI s.r.o* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.forestmeri.cz/stepkovac-vandaele-tv-27-40>
- [11] Bubnový štěpkovač Jensen JT 600. In: *Agrocar s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.agrocar.cz/lesni-hospodarstvi/drvice-a-stepkovace-dreva/stepkovace-pro-komunalni-a-lesni-hospodarstvi/bubnovy-stepkovac-jensen-jt/>
- [12] Tatra Phoenix v provedení štěpkovač stromů 6x6. In: *PARTNER - IPEX s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://partneripex.cz/cs/novinky/97-uprava-vozidla-tatra-phoenix-v-provedeni-stepkovac-stromu-6x6>
- [13] Štěpkovač DH910 SA B. In: *MALCOM CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.malcomcz.eu/dh-910-sa-b>
- [14] Bubnový štěpkovač DH 812 LD, 350 kW. In: *MALCOM CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.malcomcz.eu/dh-812-ld>

- [15] Diskový štěpkovač PZ 110. In: *MALCOM CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.malcomcz.eu/pz-110>
- [16] *Návrh konstrukčního řešení štěpkovače* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://bit.ly/2VLvjo8>. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Marek Ták, Ph.D.
- [17] E-mailová korespondence s Ing. Vítězslavem Šimkem [online]. [cit. 2018-10-23]. [info@retezyolomouc.cz](mailto:info@retezyolomouc.cz)
- [18] Výhřevnost a objemová hmotnost dřeva. In: *Dřevo NB, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.drevonb.cz/palivove-drevo/vlastnosti-dreva/>
- [19] Skladování štěpky v rašlových pytlicích. In: *Hyperinzerce.cz* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://suroviny-polotovary.hyperinzerce.cz/paliva/inzerat/9878650-raslove-pytle-pytle-na-drevo-pytle-na-stepku-nabidka/>
- [20] Doutnání drtě. In: *JcTED.cz* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.jcted.cz/pozar-stepky-u-chlaponic-si-vyzadal-prijezd-techniky-z-dalsich-kraju/>
- [21] Protiběžné hřídele z kulatiny. In: *Pinterest* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/426997608403834825/>
- [22] Drtič větví Vares SHARK 2,2 kW. In: *AGROMEP s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.agromepshop.eu/agromep/eshop/6-1-Drtice-vetvi/-4-/5/284-Drtic-vetvi-a-zahradniho-odpadu-SHARK-2-2//description#anch1>
- [23] Délka špalíku 17 cm. In: *BYSTRON – INTEGRACE s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.bystron.cz/produkty/kategorie/7/spalikovace/100/za-traktor/vyrobek/27/pirba-longa/>
- [24] Pirana Longa 4 kW. In: *BYSTRON – INTEGRACE s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.bystron.cz/produkty/kategorie/7/spalikovace/106/s-elektromotorem/vyrobek/36/pirana-longa-4kw/>
- [25] Štěpkovače s elektromotorem 2,4-2,6 kW do průměru větví 40 mm. In: *ITEST* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.itest.cz/zahradni-technika/stepkovace-zlikviduji-orezane-vetve/>
- [26] HECHT 6421 - motorový drtič větví. In: *M&M Technika s.r.o* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.naradinazahradu.cz/hecht-6421-motorovy-drtic-vetvi/>
- [27] Štěpkovač Jensen A 530 XL. In: *Půjčovna PROFI* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.pujcovna-profi.cz/stroje-k-zapujceni/zpracovani-dreva-a-bioodpadu/stepkovac-jensen-a-530-xl.html>
- [28] Pirba 11 kW. In: *BYSTRON – INTEGRACE s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.bystron.cz/produkty/kategorie/1/stepkovace/40/s-elektromotorem/vyrobek/21/pirba-11kw/>

- [29] URBAN SMH70 s točnou a dopravníkem 2,6 m. In: *URBAN KOVO s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.stepkovac.com/urban-smh70-s-tocnou-a-dopravnikem-2-6-m-83225.html>
- [30] Nesený štěpkovač s hřídelí poháněnou od náhonu traktoru s pytlováním. In: *PETEK* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: [http://www.petek.cz/e\\_shop/stepkovace\\_drtice/stepkovac\\_za\\_traktor/rojek\\_dh\\_12\\_tp\\_stepkovac\\_za\\_traktor](http://www.petek.cz/e_shop/stepkovace_drtice/stepkovac_za_traktor/rojek_dh_12_tp_stepkovac_za_traktor)
- [31] Barakuda s připojením vlečky. In: *BYSTRON – INTEGRACE s.r.o.* [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.bystron.cz/produkty/kategorie/1/stepkovace/94/za-traktor/vyrobek/12/barakuda-s-pripojenim-vlecky/>
- [32] Samostředící svěrné pouzdro RCK 70. In: *ŘETĚZY Olomouc, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.retezyolomouc.cz/samostredici-sverna-hridelova-pouzdra-rck-70-p148#lg=1&slide=0>
- [33] Samostředící svěrné pouzdro RCK 80. In: *ŘETĚZY Olomouc, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.retezyolomouc.cz/samostredici-sverna-hridelova-pouzdra-rck-80-p150#lg=1&slide=0>
- [34] Nomogram součinitelů tvaru vrubu. In: *VUT v Brně* [online]. [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: [https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/487360/mod\\_resource/content/1/6.prezentace.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/487360/mod_resource/content/1/6.prezentace.pdf)
- [35] Drtič, anebo štěpkovač? Jsou mezi nimi drtivé rozdíly. In: *IDNES.cz* [online]. [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/hobby/zahrada/drtic-a-stepkovac-vyber.A121005\\_170907\\_hobby-zahrada\\_bma](https://www.idnes.cz/hobby/zahrada/drtic-a-stepkovac-vyber.A121005_170907_hobby-zahrada_bma)
- [36] Ozubená kola. In: *FEROVE LESNÉ ŠPECIALY* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.ferovelesnespecialy.estranky.cz/fotoalbum/stiepkovac/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$b_{Lo}$	[mm]	Šířka ložiska 6209-2RSH
$b_{pKl}$	[mm]	Šířka pera kola
$b_{pP}$	[mm]	Šířka pera pastorku
$b_{SV}$	[mm]	Šířka svěrného pouzdra
$b_z$	[mm]	Šířka ozubení
$C_{Lo}$	[N]	Dynamická únosnost ložiska 6209-2RSH
$C_t$	[N]	Teoretická minimální dynamická únosnost ložiska
$D_A$	[mm]	Průměr připojovací hřídele do převodovky
$D_{Kl}$	[mm]	Průměr díry ozubeného kola
$D_{K2}$	[mm]	Průměr díry ozubeného kola
$d_{Lo}$	[mm]	Vnitřní průměr ložiska 6209-2RSH
$D_{Lo}$	[mm]	Vnější průměr ložiska 6209-2RSH
$D_{m\ max}$	[cm]	Maximální průměr vstupního materiálu
$D_P$	[mm]	Průměr díry pastorku
$D_{past}$	[mm]	Roztečná kružnice pastorku
$d_{SV}$	[mm]	Vnitřní průměr svěrného pouzdra
$D_{SV}$	[mm]	Vnější průměr svěrného pouzdra
$F_{LoPA}$	[N]	Síla působící v ložisku A
$F_{LoPAx}$	[N]	Síla v ložiscích působící v rovině XZ
$F_{LoPAy}$	[N]	Síla v ložiscích působící v rovině YZ
$F_{LoPB}$	[N]	Síla působící v ložisku B
$F_{LoPBx}$	[N]	Síla v ložiscích působící v rovině XZ
$F_{LoPBy}$	[N]	Síla v ložiscích působící v rovině YZ
$F_{ODKl}$	[N]	Obvodová síla na peru kola
$F_{ODP}$	[N]	Obvodová síla na peru
$F_{past}$	[N]	Výsledná síla působící v pastorku
$F_{pastX}$	[N]	Síla působící v pastorku v rovině XZ
$F_{pastY}$	[N]	Síla působící v pastorku v rovině YZ
$h_n$	[-]	Počet hnaných hřídelů s noži
$i$	[-]	Převodový poměr
$I_{IF}$	[A]	Proud jednofázové zásuvky
$k_{A\tau}$	[-]	Koeficient bezpečnosti v krutu

$k_C$	[-]	Koeficient bezpečnosti
$k_D$	[-]	Koeficient bezpečnosti v krutu
$k_M$	[-]	Momentová přetížitelnost motoru
$k_{min}$	[-]	Minimální požadovaná bezpečnost hřídele
$k_{pd}$	[-]	Koeficient dle typu zatížení
$k_{SL}$	[-]	Koeficient spolehlivosti ložiska 99,5 %
$L_{ISV}$	[mm]	Délka uložení svěrného pouzdra v náboji
$L_{5\ 000}$	[hod]	Požadovaná minimální trvanlivost ložiska
$l_{AB}$	[mm]	Vzdálenost mezi středy ložisek
$l_{AK}$	[mm]	Vzdálenost mezi středy ložiska a pastorku
$l_{BK}$	[mm]	Vzdálenost mezi středy ložiska a pastorku
$l_{pK1}$	[mm]	Délka pera kola
$l_{pP}$	[mm]	Délka pera pastorku
$L_{SV}$	[mm]	Celková délka svěrného pouzdra
$M_C$	[Nm]	Ohybový moment
$M_{K2}$	[Nm]	Kroutící moment na ozubeném kole
$M_{out}$	[Nm]	Výstupní moment z převodovky
$M_{SV}$	[Nm]	Maximální kroutící moment na svěrném pouzdře
$m_z$	[mm]	Modul zubu
$n_{out}$	[min <sup>-1</sup> ]	Výstupní otáčky z převodovky
$p_0$	[MPa]	Základní hodnota tlaku v náboji
$P_{1F}$	[W]	Příkon jednofázové zásuvky
$p_D$	[MPa]	Dovolený tlak v drážce pera
$P_{tp}$	[kW]	Potřebný výkon motoru
$t_{pK1}$	[mm]	Hloubka drážky v náboji kola
$t_{pP}$	[mm]	Hloubka drážky v náboji pastorku
$U_{1F}$	[V]	Napětí jednofázové zásuvky
$z_1$	[-]	Počet zubů pastorku
$z_2$	[-]	Počet zubů kola
$\alpha_A$	[-]	Součinitel vrubu v ohybu
$\alpha_{A\tau}$	[-]	Součinitel vrubu v krutu
$\eta$	[-]	účinnost převodu ozubeným kolem
$\sigma_C$	[MPa]	Napětí v ohybu



$\sigma_{Dov}$	[MPa]	Maximální dovolené napětí v ohybu
$\tau_A$	[MPa]	Napětí v krutu
$\tau_C$	[MPa]	Napětí v krutu
$\tau_D$	[MPa]	Napětí v krutu
$\tau_{Dov}$	[MPa]	Maximální dovolené napětí v krutu



## SEZNAM PŘÍLOH

Štěpkovač	Výkres sestava	191501.00
Předlohová hřídel	Výkres součásti	191501.11
Nůž	Výkres součásti	191501.12
Svarek Bok levý	Výkres svařence	191501.13